

6)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-167647

(43)Date of publication of application : 11.06.2002

(51)Int.Cl. C22C 38/00
C21C 7/00
C22C 38/14
C22C 38/34

(21)Application number : 2000-359368

(71)Applicant : SUMITOMO METAL IND LTD

(22)Date of filing : 27.11.2000

(72)Inventor : NISHI TAKAYUKI

(54) Si KILLED STEEL HAVING EXCELLENT FATIGUE STRENGTH AND ITS PRODUCTION METHOD**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide Si killed steel in which the content of harmful large-sized inclusions is low, and, further, the remaining inclusions are ductile and finely dispersed ones, and which has excellent fatigue strength, and to provide its production method.

SOLUTION: The Si killed steel contains, by mass, $\leq 0.003\%$ Al, $\leq 0.003\%$ Ti, $\leq 0.0010\%$ Zr and 0.05 to 4.0% Si. Also, as the inclusions in the Si killed steel, SiO_2 of $\geq 45\%$ and 0.5 to 10% the oxide (R_2O) of alkali metals R (R=Na, K and Li) are contained.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.06.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 08.03.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2005-06075

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 07.04.2005

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

6)

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is less than [aluminum:0.003%], less than [Ti:0.003%], less than [Zr:0.0010%], and Si killed steel contained Si:0.05 to 4.0% in mass %, and the inclusion in this Si killed steel is SiO₂ at mass %. : The oxide of 45% or more and alkali-metal R (R= Na, K, Li) (R₂ O): Si killed steel excellent in the fatigue strength characterized by containing 0.5 to 10%.

[Claim 2] said Si killed steel -- further -- C:1.2% or less and Mn: -- Si killed steel excellent in the fatigue strength according to claim 1 characterized by containing O:0.0020% or less 0.20 to 1.50%.

[Claim 3] said Si killed steel -- further -- C:1.2% or less and Mn: -- Si killed steel excellent in the fatigue strength according to claim 1 characterized by containing Cr:0.05 to 2.0% O:0.0020% or less 0.20 to 1.50%.

[Claim 4] said Si killed steel -- further -- C:0.15% or less, Mn:0.1~2.0%, and Cr: -- Si killed steel excellent in the fatigue strength according to claim 1 characterized by containing O:0.0080% or less 4 to 20%.

[Claim 5] It is the approach of manufacturing Si killed steel according to claim 1 to 4. Si deoxidation is performed when carrying out tapping to a ladle from a refining furnace. The slag presentation at the time of subsequent ladle slag refining by mass % CaO:20~45%, SiO₂ : 25 ~ 60%, MgO:5~18%, ~~aluminum~~2O₃ : The oxide of alkali-metal [1 ~ 12%, MnO:0.2~8%, and] R (R= Na, K, Li) (R₂ O): The manufacture approach of Si killed steel excellent in the fatigue strength characterized by considering as 0.5 ~ 10%.

R₂O : 0.5 ~ 10%

Al₂O₃ : 1 ~ 12%

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-167647

(P2002-167647A)

(43)公開日 平成14年6月11日(2002.6.11)

(51)Int.Cl.
 C 22 C 38/00
 C 21 C 7/00
 C 22 C 38/14
 38/34

識別記号
 3 0 1

F I
 C 22 C 38/00
 C 21 C 7/00
 C 22 C 38/14
 38/34

テ-マコード(参考)
 3 0 1 Y 4 K 0 1 3
 J

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願2000-359368(P2000-359368)

(71)出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(22)出願日 平成12年11月27日(2000.11.27)

(72)発明者 西 隆之

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

(74)代理人 100081352

弁理士 広瀬 章一

Fターム(参考) 4K013 AA07 BA08 BA14 CF01 CF13

EA01 EA03 EA04

(54)【発明の名称】 疲労強度に優れたS i 脱酸鋼およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 従来の鋼と比較して、有害な大型介在物が少なく、しかも残留した介在物も延性のある介在物であり、かつその介在物は微細分散されたものであり、疲労強度に優れたS i 脱酸鋼およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 質量%でA l : 0. 0 0 3 %以下、T i : 0. 0 0 3 %以下、Z r : 0. 0 0 1 0 %以下およびS i : 0. 0 5 ~ 4. 0 %含有するS i 脱酸鋼であつて、かつ該S i 脱酸鋼中の介在物が質量%でS i O₂ : 4 5 %以上、アルカリ金属R (R = N a、K、L i) の酸化物(R₂ O) : 0. 5 ~ 1 0 %含有する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 質量%でA₁:0.003%以下、T_i:0.003%以下、Z_r:0.0010%以下およびS_i:0.05~4.0%含有するS_i脱酸鋼であつて、かつ該S_i脱酸鋼中の介在物が質量%でS_iO₂:4.5%以上、アルカリ金属R(R=Na、K、Li)の酸化物(R₂O):0.5~1.0%含有することを特徴とする疲労強度に優れたS_i脱酸鋼。

【請求項2】 前記S_i脱酸鋼が、更に、C:1.2%以下、Mn:0.20~1.50%、O:0.0020%以下含有することを特徴とする請求項1に記載の疲労強度に優れたS_i脱酸鋼。

【請求項3】 前記S_i脱酸鋼が、更に、C:1.2%以下、Mn:0.20~1.50%、O:0.0020%以下、Cr:0.05~2.0%含有することを特徴とする請求項1に記載の疲労強度に優れたS_i脱酸鋼。

【請求項4】 前記S_i脱酸鋼が、更に、C:0.15%以下、Mn:0.1~2.0%、Cr:4~20%、O:0.0080%以下含有することを特徴とする請求項1に記載の疲労強度に優れたS_i脱酸鋼。

【請求項5】 請求項1~4のいずれかに記載のS_i脱酸鋼を製造する方法であつて、精錬炉から取鍋に出鋼するときにS_i脱酸を行い、その後の取鍋スラグ精錬時のスラグ組成を質量%でCaO:2.0~4.5%、SiO₂:2.5~6.0%、MgO:5~1.8%、Al₂O₃:1~1.2%、MnO:0.2~8%、アルカリ金属R(R=Na、K、Li)の酸化物(R₂O):0.5~1.0%とすることを特徴とする疲労強度に優れたS_i脱酸鋼の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、従来の鋼と比較して、有害な大型介在物が少なく、しかも残留した介在物も延性のある介在物であり、かつその介在物は微細に分散されたものであり、疲労強度に優れたS_i脱酸鋼およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 S_i脱酸鋼は、S_iが鋼材としての必要成分であるとともに、溶鋼中での酸素との親和力が大きく鋼を脱酸する機能を有することから、強脱酸元素を含有しない鋼に脱酸材として広く用いられている。

【0003】 一般にS_i脱酸鋼は、鋼中のS_i濃度がA₁脱酸鋼のA₁濃度と比較して数倍ないし数十倍高い。また、S_i脱酸鋼は、A₁脱酸鋼よりも全酸素濃度が高くなるが、介在物組成の制御が可能であるという利点がある。この利点を生かして、疲労強度向上に有害な介在物の生成を抑制することが広く行われている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 例えば、特公昭54-7252号公報には、線材用高炭素S_i脱酸鋼中のS_i

O₂-MnO-Al₂O₃系の3元系非金属介在物を低融点のスペサタイト領域に制御する技術が開示されている。この技術は、介在物を低融点化することにより、熱間圧延段階での介在物の伸展性を向上させ、線材加工時の伸線性を良好にするものである。しかしながら、この技術は全酸素濃度が高く介在物量が多いという問題がある。

【0005】 また、特公昭58-56021号公報には、線材用の高炭素S_i脱酸鋼中の全酸素濃度が5.0重量ppm以下、非粘性介在物インデックスが1.5以下、および介在物組成が硬度の低いロードナイト質を含む複合酸化物からなることを特徴とする清浄鋼が開示されている。しかしながら、この発明でのS_i脱酸鋼中の全酸素濃度は3.0~4.5ppmと高い水準にとどまっている。

【0006】 さらに、特公平6-74484号公報には、介在物を無害化するという観点から介在物の長さ(l)と幅(d)のアスペクト比(l/d)が5以下で、組成がS_iO₂:2.0~6.0%、MnO:1.0~8.0%、およびCaO:5.0%以下、MgO:1.5%以下の介在物であることを特徴とする冷間加工性および疲労特性に優れた高清浄鋼が提案されている。また、特公平6-74485号公報には、同じアスペクト比で、組成がS_iO₂:3.5~7.5%、Al₂O₃:3.0%以下、CaO:5.0%以下、MgO:2.5%以下からなる介在物であることを特徴とする冷間加工性および疲労特性に優れた高清浄鋼が提案されている。これらは、熱間圧延で残存している介在物であっても、その段階での形状と組成を限定することにより、大型の有害介在物が存在する割合を小さくする技術と言える。しかしながら、これらの技術は、介在物低減には限界があり、疲労特性の向上にも限界があった。

【0007】 特公平4-8499号公報には、介在物をさらに延性なものとする方法として、全酸素量、非粘性介在物インデックスを規定し、さらに介在物成分のうちS_iO₂、MnO、MgO、Al₂O₃、CaO、TiO₂組成を限定するとともに、さらにその他酸化物としてV、Ba、Zr、Naの酸化物および不可避的に混入する酸化物を5%以下に制御した技術が提案されている。この技術は、非粘性介在物組成を制御するために全酸素濃度を1.5ppm以上とする必要があるため、介在物量そのものを減じる、あるいは微細化するという機能はない。

【0008】 特許2654099号公報には、S_i脱酸剤とアルカリ金属化合物を添加することにより、脱酸生成物をアルカリ金属含有組成にコントロールする清浄鋼の製造法が開示され、この方法によれば介在物にアルカリ金属化合物量を4~24%含有させることにより、7.5μm以上の大型介在物量を減少させることができるとしている。この大型介在物が減少する理由は、アル

カリ金属化合物によるアルミナ系およびシリカ系介在物の延性化により圧延過程で微細化されるためである。しかしこの方法では、脱酸生成物に起因する介在物の組成制御が考慮されていないことから、より有害なアルミナ系介在物そのものを減ずるものではなく、しかもこれは安定な酸化物であるため、容易には組成変化し難く、したがって非延性な組成で残存するおそれがある。また、この方法はアルカリ金属化合物を直接溶鋼に添加するので、アルカリ金属の蒸発やそれによる発煙といった製造法上の問題が避けられない。

【0009】本発明は、従来の鋼と比較して、有害な大型介在物が少なく、しかも残留した介在物も延性のある介在物であり、かつその介在物は微細に分散されたものであり、疲労強度に優れたS_i脱酸鋼およびその製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者は、有害な大型介在物の生成を抑制する等の検討を重ねた結果、下記の知見を得た。

【0011】(A) 大型介在物の生成を防ぐには、介在物量を抑制するとともに介在物を微細に分散させることができ有効である。微細な介在物が安定するためにには、溶鉄との界面エネルギーが低いものが望ましく、介在物中のFeO、MnO濃度が高いものが良いと推察される。しかしながら、介在物中のこれらのFeO、MnO濃度が高くなると、溶鋼中の酸素ポテンシャルが高くなり、介在物量の増加をまねくという問題を生じる。

【0012】(B) 延性のある介在物とするには、S_iO₂を基本組成とする必要があるので、S_iO₂が主体の介在物で、それら介在物の微細化を図るために、アルカリ金属R(R=N_a、K、L_i)の酸化物(以下、R₂Oともいう)を含有させればよいと想した。

【0013】すなわち、S_iO₂系介在物にR₂Oが含まれている状態は、FeOやMnOが含まれている状態に比べて溶鋼温度域で熱力学的により安定であり、溶鋼との平衡酸素ポテンシャルが低い。一方、CaO、Al₂O₃およびMgOと比較すると、R₂Oは溶鋼温度域で熱力学的により不安定であるため、S_iO₂系介在物にR₂Oが含まれている状態は、S_iO₂系介在物にCaO、Al₂O₃およびMgOが含まれている状態に比較して溶鋼との反応性が高くなるため、界面エネルギーが低くなる。この界面エネルギーの低下効果により、R₂Oが含まれているS_iO₂系介在物は微細化が可能となる。この結果、介在物起因の疲労強度の低下要因が低減され、疲労強度に優れたS_i脱酸鋼が得られる。

【0014】(C) このような良好な介在物を含有するS_i脱酸鋼は、取鍋精錬におけるスラグ組成を適正な組成に制御することにより得られる。本発明は、以上の知見に基づいてなされたもので、その要旨は、下記のとおりである。

【0015】(1) 質量%でAl:0.003%以下、Ti:0.003%以下、Cr:0.0010%以下およびSi:0.05~4.0%含有するS_i脱酸鋼であって、かつ該S_i脱酸鋼中の介在物が質量%でSiO₂:45%以上、アルカリ金属R(R=N_a、K、L_i)の酸化物(R₂O):0.5~10%含有することを特徴とする疲労強度に優れたS_i脱酸鋼。

【0016】(2) 前記S_i脱酸鋼が、更に、C:1.2%以下、Mn:0.20~1.50%、O:0.0020%以下含有することを特徴とする上記(1)に記載の疲労強度に優れたS_i脱酸鋼。

【0017】(3) 前記S_i脱酸鋼が、更に、C:1.2%以下、Mn:0.20~1.50%、O:0.0020%以下、Cr:0.05~2.0%含有することを特徴とする上記(1)に記載の疲労強度に優れたS_i脱酸鋼。

【0018】(4) 前記S_i脱酸鋼が、更に、C:0.15%以下、Mn:0.1~2.0%、Cr:4~20%、O:0.0080%以下含有することを特徴とする上記(1)に記載の疲労強度に優れたS_i脱酸鋼。

【0019】(5) 上記(1)~(4)のいずれかに記載のS_i脱酸鋼を製造する方法であって、精錬炉から取鍋に出鋼するときにS_i脱酸を行い、その後の取鍋スラグ精錬時のスラグ組成を質量%でCaO:20~45%、SiO₂:25~60%、MgO:5~18%、Al₂O₃:1~12%、MnO:0.2~8%、アルカリ金属R(R=N_a、K、L_i)の酸化物(R₂O):0.5~10%とすることを特徴とする疲労強度に優れたS_i脱酸鋼の製造方法。

【0020】

【発明の実施の形態】介在物中の(S_iO₂)濃度が4.5質量%(以下、単に%で質量%を表す)以上であれば、非延性で有害なAl₂O₃系介在物、MgO・Al₂O₃系介在物およびMgO系介在物の生成確率は確実に減少する。望ましい介在物中の(S_iO₂)濃度は7.0%以上である。

【0021】このように介在物中の(S_iO₂)濃度が4.5%以上と高い介在物は、圧延長手方向に著しく延伸した形状ではないが、オーバルな鋭角のない形状であり、微細である限りにおいては、疲労強度に悪影響を及ぼしにくい。

【0022】しかしながら、単に(S_iO₂)濃度が高い介在物が主体となった場合、これが10μm以上の幅を有する大きなものであれば、疲労強度に悪影響を及ぼす可能性が高い。また、(S_iO₂)濃度が高い介在物組成に制御すること自体は、介在物径を減少させる効果はないし、また、(S_iO₂)濃度が極端に高い介在物は熱間圧延加工での延伸効果が期待できず、10μm以上の幅を有する介在物が圧延加工後でも存在する確率が高い。

【0023】そこで、この $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上の幅を有する SiO_2 系介在物の生成を防ぐために、介在物を微細に分散させる条件について、脱酸過程での溶鋼-酸化物間の界面エネルギーから検討すると、 Si 脱酸鋼で一般的な $\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 系介在物よりも、 FeO や MnO 濃度の高い介在物の方が微細に分散させるのに有利となる。

【0024】しかしながら、 FeO や MnO 濃度の高い介在物を生成させるには、溶鋼中の Si 濃度を低く抑える必要があり、多くの Si 脱酸鋼には適用できず、また弱脱酸になることから介在物個数はむしろ増加する。

【0025】そこで、 SiO_2 系介在物に、介在物を微細に分散させるのに有利になると考えられる強塩基性のアルカリ金属酸化物(R_2O 、 $\text{R}=\text{Li}$ 、 Na 、 K)を含有させることを前述の通り着想した。

【0026】以下に、この着想を確認するために実施した模擬実験結果を示す。取鍋スラグ精錬を模擬することができる雰囲気調整炉を用いて、種々の Si 脱酸鋼を $1500\sim1560^\circ\text{C}$ で溶解した。

【0027】溶鋼を[C]:0.70%、[Mn]:0.25%にそれぞれ成分調整後、所定成分のスラグを添加し、取鍋スラグ精錬を行い、溶鋼温度を $1500\sim1560^\circ\text{C}$ に保持した後、スラグが混入しないように炉を傾動して得られた溶鋼を鋳造した。このようにして得られた鋼塊(大きさ: $220\text{ mm}\phi \times 50.0\text{ mm}$ 、質量:150kg)を $6.5\text{ mm}\phi$ まで鍛圧し、さらに $5.5\text{ mm}\phi$ まで圧延加工した。

【0028】スラグの生成は、 $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}$ 系を基本とするフラックスを対象溶鋼質量kgあたり 1.5 g 使用して行い、スラグ中の Na_2O 濃度を8%とした。

【0029】圧延加工した試料から、長手方向断面に切断、鏡面研磨して、内在する幅 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物を調査した。調査した酸化物系介在物は、すべて単独または硫化物と複合した形態であり、組成についてはそのうちの酸化物部分をエネルギー分散型X線マイクロアナライザで分析した。

【0030】図1は、鋼中の[A1]濃度と介在物中の (SiO_2) 濃度との関係を示すグラフである。なお、図中の●値は、観察した介在物($n=30\sim40$)中の (SiO_2) 濃度の平均値を、図中のエラーバーは、観察した介在物($n=30\sim40$)中の最大値と最小値をそれぞれ示す(以下の図2~5および8も同様)。

【0031】同図に示すように、鋼中の[A1]濃度が0.003%以下で介在物中の (SiO_2) 濃度が45%以上となる。また、鋼中の[A1]濃度が0.001%以下で介在物中の (SiO_2) 濃度が70%以上となる。

【0032】図2は、鋼中の[Ti]濃度と介在物中の (SiO_2) 濃度との関係を示すグラフである。同図に

示すように、鋼中の[Ti]濃度が0.003%以下で介在物中の (SiO_2) 濃度が45%以上となる。また、鋼中の[Ti]濃度が0.001%以下で介在物中の (SiO_2) 濃度が70%以上となる。図3は、鋼中の[Zr]濃度と介在物中の (SiO_2) 濃度との関係を示すグラフである。

【0033】同図に示すように、鋼中の[Zr]濃度が0.0010%以下で介在物中の (SiO_2) 濃度が45%以上となる。また、鋼中の[Zr]濃度が0.002%以下で介在物中の (SiO_2) 濃度が70%以上となる。次に、[A1]≤0.003%、[Ti]≤0.003%および[Zr]≤0.0010%である鋼を使用して、[Si]濃度を0.03%から4.4%の範囲に調整し、そのときの加工試料中に観察される介在物中の (SiO_2) 濃度および $(\text{Na}_2\text{O}$ 濃度)を分析した。

【0034】図4は、鋼中の[Si]濃度と介在物中の (SiO_2) 濃度との関係を示すグラフである。なお、図中の●は、スラグに Na_2O を8%配合したときの試験結果を、○は Na_2O を無添加としたときの試験結果を、それぞれ示す。

【0035】同図に示すように、スラグに Na_2O の添加有無に関係なく、鋼中の[Si]濃度が0.05~4.0%の範囲において、介在物中の (SiO_2) 濃度が45%以上となる。

【0036】図5は、鋼中の[Si]濃度と介在物中の (Na_2O) 濃度との関係を示すグラフである。なお、図中の●は、スラグに Na_2O を8%配合したときの試験結果を、□は Na_2O を無添加としたときの試験結果を、それぞれ示す。

【0037】同図に示すように、スラグに Na_2O を8%配合すると、鋼中の[Si]濃度が0.05~4.0%の範囲において、介在物中の (Na_2O) 濃度が0.5%以上となる。

【0038】次に、[C]:0.70%、[Si]:0.25%、[Mn]:0.50%、[A1]:0.004%、[Ti]:0.0004%、[Zr]:0.0001%以下の鋼組成を有し、かつ介在物中の (Na_2O) 濃度が3.2~3.6%を有するものについて、 SiO_2 濃度が42%、54%および75%の3水準の試料を作製し、前記の通り $5.5\text{ mm}\phi$ まで圧延加工した。

【0039】図6は、圧延方向断面における介在物の幅の大きさとその度数分布との関係を示すグラフである。なお、図中横軸に記載の例えれば1~2とは $1\sim2\text{ }\mu\text{m}$ 未満を示し、2~4とは $2\sim4\text{ }\mu\text{m}$ 未満をそれぞれ示す。

【0040】同図に示すように、介在物中の (SiO_2) 濃度が42%では、 Na_2O を含有していても $8\text{ }\mu\text{m}$ 以上の介在物が有るのに対し、 SiO_2 濃度が54%では、 $8\text{ }\mu\text{m}$ 未満となり、75%では $6\text{ }\mu\text{m}$ 未満であ

り、介在物が微細化する。

【0041】同様に上記鋼組成で、介在物の組成が(SiO₂)70%以上で、(Na₂O)濃度が0.3%、1.8%、3.6%、9.7%の4水準の試料を作製し、前記の通り5.5mmφまで圧延加工した。

【0042】図7は、介在物中の(Na₂O)濃度をパラメータとした圧延方向断面における介在物の幅の大きさとその度数分布との関係を示すグラフである。同図に示すように、介在物中の(Na₂O)濃度が0.3%では、8μm以上の介在物が有るのに対し、(Na₂O)濃度が1.8%では、8μm未満となり、3.6重量以上%では6μm未満であり、介在物が微細化する。

【0043】さらに、詳しく介在物中のアルカリ金属酸化物の濃度について試験検討したところ、アルカリ金属酸化物の濃度は、0.5%以上で望ましくは3%以上で介在物を微細に分散させる効果が認められた。

【0044】しかし、その介在物を微細に分散させる効果は約10%で飽和する。一方、アルカリ金属酸化物は、溶鋼脱酸が生じるような還元性雰囲気下で分解しやすくなり、その結果、介在物中に約10%を越えるアルカリ金属酸化物を安定して維持させることは困難となる。

【0045】本発明の優れた点は、Si脱酸鋼のSiO₂系介在物中にアルカリ金属酸化物を含有させれば、さまざまな鋼種に適用が可能となることである。そこで、本発明を使用できる望ましい鋼種について以下に述べる。

【0046】その一には、C:1.20%以下、Mn:0.10%~1.50%、およびO:0.0020%以下の組成を基本とする高炭素Si脱酸鋼が望ましい。C濃度の上限を1.20%とした理由は、1.20%を越えると鋼自体が脆化し加工性が悪化するとともに、アルカリ金属酸化物が溶鋼中の炭素によって分解しやすくなるおそれがあるからである。

【0047】下限は特に限定されるものではないが、鋼材強度を適度に保つには0.05%以上することが望ましい。Mn濃度の上限を1.5%とした理由は、Mn濃度が高くなるとSi-Mn複合脱酸の影響が現れ始め、Mn濃度が1.5%を越えると介在物中のMnO濃度が10%を越えて、介在物中のSiO₂濃度が70%以上となることが困難となるおそれがあるからである。

下限は介在物制御の観点から特にないが、鋼材の強度等を鑑みれば、0.20%以上とすることが望ましい。

【0048】O濃度の上限を0.0020%とした理由は、疲労強度の向上には、介在物量が少ないことが望ましいからである。また、上記高炭素Si脱酸鋼に、Crを0.05~2.0%含有させた高炭素Cr含有Si脱酸鋼も望ましい。

【0049】さらに、本発明は、Si脱酸で溶製できるフェライト系、あるいは、オーステナイト系ステンレス

鋼にも適用することができる。これらのステンレス鋼の望ましいCr濃度は4.0~20%である。

【0050】Crが含有されると、Crと酸素の親和力が強く脱酸処理が困難となるおそれがある。脱酸が不足した場合には介在物が多量に残留して、本技術による介在物形態制御をもってしても、疲労強度に影響が出る可能性があることから、全酸素濃度を0.0080%以下にすることが望ましい。

【0051】なお、Cr濃度が8.0%以上では、上記脱酸が不足するのを回避するために、Si濃度が0.10%以上あることが望ましい。Cr濃度は、加工性と耐食性とを両立させるために、0.15%以下が望ましい。

【0052】Mn濃度は、Si脱酸の予備脱酸機能を持たせるために、また強度を確保するために、0.1%以上が望ましい。一方、Si脱酸・Mn脱酸の複合脱酸効果による介在物中のSiO₂濃度の低下を防止するためには2.0%以下が望ましい。

【0053】また、Ni濃度については、特に制限はなく、オーステナイト系ステンレス鋼としての特徴を發揮する組成においても本発明は適用できる。さらに、本発明は、Si脱酸鋼で溶製できるVやMoを含む高強度鋼や肌焼き鋼へも適用できる。すなわち、本発明においては脱酸に影響を及ぼさない合金成分、例えばVやMoは通常の鋼成分の範囲であればその効果を発揮することができる。またNi濃度についても特に制限はなく、その効果を発揮することができる。

【0054】次に、介在物組成の制御方法について述べる。介在物組成は、基本的には溶鋼中の脱酸元素濃度およびスラグ組成によって制御することができる。

【0055】スラグ組成はスラグ精錬のタイミング、添加するフラックス組成および量、初期酸素濃度、精錬温度にも影響されるためこれらを考慮する必要がある。Si添加の時期については、転炉あるいは電気炉といった製鋼炉の出鋼前あるいは出鋼硫に対しての添加が望ましい。その理由は、脱酸初期に生成する大型介在物が浮上・除去するためである。

【0056】本発明で対象とするSi脱酸鋼の溶製に際し、製鋼炉からの流出スラグを取鍋中の溶鋼から除滓を行い、あらためて溶鋼中にフラックス添加を行う。ここで最も重要な点は、フラックス添加取鍋精錬におけるスラグ組成である。

【0057】すなわち、この取鍋精錬段階において、CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-MnO-R₂O(R=Li、Na、K)系スラグを用いる。スラグ中のCaOは熱的に安定なスラグを構成するための必須成分であり、その濃度は20%以上が望ましいが、45%を越えると、スラグ塩基度が高くなることにより、介在物中のCaO、MgO等の塩基性成分、Al₂O₃等の中性成分が高い濃度で安定となり、介在物中の(SiO₂)濃度が45%未満となるおそれがあり45%以下

が望ましい。すなわち、スラグ中のCaO濃度は20～45%が望ましい。

【0058】スラグ中のSiO₂は、Si脱酸鋼を安定に溶製するための必須成分であり、その濃度が25%未満では、介在物中の(SiO₂)濃度が45%未満となるおそれがあり、60%を越えると取鍋耐火物の溶損が生じるおそれがあるため、スラグ中のSiO₂濃度は25～60%が望ましい。

【0059】スラグ中のMgOは製鋼炉流出スラグ、耐火物や副原料から入る不可避的適成分为極端に低減することはコスト的に困難であり、また耐火物保護の観点からスラグ中のMgO濃度は5%以上が望ましいが、MgO濃度が18%を越えると、介在物にMgO濃度が50%を越え、非延性介在物が発生するおそれがあり、スラグ中のMgO濃度は18%以下が望ましい。すなわち、スラグ中のMgO濃度は5～18%が望ましい。

【0060】スラグ中のAl₂O₃は製鋼炉流出スラグ、耐火物や副原料から入る不可避的適成分为極端に低減することはコスト的に困難であり、Al₂O₃濃度が12%を越えると介在物の(Al₂O₃)濃度が30%を越え、非延性介在物が発生するおそれがあるため、スラグ中のAl₂O₃濃度は1～12%が望ましい。

【0061】スラグ中のMnOは製鋼炉流出スラグ、合金成分の脱酸から入る不可避的成分で極端に低減することはコスト的に困難であり、MnO濃度が8%を越えると全酸素濃度を下げることが困難となり、介在物量そのものが増加するおそれがあるため、スラグ中のMnO濃度は0.2～8.0%が望ましい。

【0062】スラグ中のR₂Oは、スラグ中に0.5%以上含有せざることが望ましいが、R₂O濃度が10%を越えるとスラグ中であっても蒸発し易くなり、その蒸発量が増加してダスト量が増加する等の問題が発生するおそれがあり、スラグ中のR₂O濃度は0.5～10%が望ましい。

【0063】R₂O原料の代表例であるNa₂O原料は、熱的に安定でコスト的に有利な珪酸ソーダ、メタ珪酸ソーダ、ソーダ灰、ソーダガラス等が望ましい。R₂O原料の添加時期は特に制限はないが、スラグへの速やかな溶解を図るために、添加フラックスとの同時添加、または造渣後スラグへのR₂O原料の個別添加が望ましい。

【0064】スラグ精錬段階におけるR₂Oの過大な蒸発を抑制するには、溶鋼温度を低くすることが有効であり、スラグ精錬時の溶鋼温度を1600℃以下とすることが望ましい。

【0065】なお、CaF₂の併用は、通常、スラグの淬化性を改善する効果が期待できるので必要に応じて使用すればよいが、本発明の効果に影響を及ぼさないため、CaF₂の濃度範囲を特に限定しない。

【0066】また、不可避的成分としてスラグに含有さ

れるFeO濃度またはステンレス溶製時におけるスラグ中のCr₂O₃濃度は、スラグからの溶鋼再酸化を防ぐ観点から極力低いことが有効であるが、それらの合計濃度で5%以下とすることが望ましい。

【0067】次に、本発明のスラグ精錬の実施形態について、転炉(または電気炉)一取鍋精錬プロセスを模擬した実験に沿って述べる。通常、Si脱酸鋼は、転炉あるいは電気炉によって所期の目的炭素濃度および温度になるように酸素吹精された後、取鍋へ出鋼される。出鋼時、Fe-Si等のSi源をFe-Mn等のMn源とともに添加することによりSi脱酸される。

【0068】このSi脱酸出鋼時の流出スラグを極力抑制し、出鋼後に取鍋中の残滓を除去した後に所定組成のフラックスを添加して造渣する。本発明は、この取鍋スラグ精錬によって、Si脱酸鋼中の介在物における(SiO₂)濃度および(R₂O)濃度を制御するものであり、前に述べたように本発明のRはLi、Na、Kでありこれらの効果は等価として扱えることから、(Na₂O)濃度を制御する方法について以下に説明する。

【0069】取鍋スラグ精錬機能を模擬した溶鋼量15kgの試験装置により、溶鋼組成としては、C:0.45～0.55%、Mn:0.20～0.30%を含むSi未添加鋼を1520～1560℃で溶解した。ここで出鋼を模擬してSiおよびMn添加を行い、最終的にSi:0.20～0.30%およびMn:0.45～0.55%になるよう調整する。所定時間保持した後、種々の組成に配合した合成スラグを添加した後、さらに所定時間保持し、ポンプサンプラーで溶鋼から採取した試料中の介在物組成とスラグ組成との関係を調査した。

【0070】スラグの基本成分としては、CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO-CaF₂として、そこにNa₂Oはその炭酸塩の試薬で配合した。図8は、CaO:33～40%、SiO₂:33～40%、Al₂O₃:2～5%、MgO:12～15%、残部にCaF₂:2～5と不可避的に含まれるFeO、MnOおよびその他不純物を含有するスラグ中のNa₂O濃度と介在物中のNa₂O濃度との関係を示すグラフである。

【0071】同図に示すように、スラグ中のNa₂O濃度の上昇とともに介在物中の(Na₂O)濃度も上昇し、その効果は10%で飽和する。また、この試験の際、10%を越えて配合すると、スラグからの蒸発物が著しく増加することが認められた。

【0072】このように、この取鍋スラグ精錬によって、Si脱酸鋼中の介在物における(R₂O)濃度を任意に制御することができる。

【0073】

【実施例】80t転炉で脱炭精錬を行った後、取鍋へ出鋼する際に、Fe-SiおよびFe-Mn等の合金鉄および加炭剤を適宜添加し、Si脱酸および成分の調整を行った。この際、後のスラグ組成制御をより効率良く行

11

うために、流出スラグを極力防止し、さらに、スラグドラッガーで除滓を行った。

【0074】その後あらためて造滓のためのフラックスを添加し、所要の組成を有するスラグを形成せしめた。

フラックスとしては、製鋼で一般に用いられる生石灰(CaO源)、珪砂(SiO₂源)、ドロマイト(MgOおよびCaO源)、萤石(CaF₂)等を適宜添加した。

【0075】また、Al₂O₃、FeOおよびMnO成分は、残存スラグ、耐火物および脱酸生成物に由来し上記スラグ中に混入した。ここで、スラグ中へのR₂O源としては、Li₂O、Na₂OおよびK₂Oがほぼ等価な機能を有していることから、製鋼プロセスで利用しやすく工業的規模の入手が可能なNa₂Oを含有する珪酸ソーダを用いた。スラグ量は、溶鋼質量トン当たり約15kgとなるようにした。この取鍋精錬時の温度は、1500℃～1600℃の範囲であった。

【0076】上記条件下のスラグ精錬を約10分間以上実施した後、スラグが均一になった状態でスラグを採取し組成を調べた。スラグ精錬をさらに約5分間以上実施した後、常法にしたがい連続铸造を行い、得られた铸片を常法にしたがい圧延を施し、5.5mmφの線材を得た。線材の長手方向断面に観察される介在物を無作為に20個以上選び、その組成をエネルギー分散型のX線マイクロアナライザーで調べ、その平均値を比較した。

【0077】上記の方法により種々の組成を有する鋼材を製造し、これらの圧延試料を用いて回転曲げ疲労試験(10⁷回回転曲げ試験)を行った。各試料は、鋼種ごとに焼き入れ焼き戻し等の同じ熱処理を施した。疲労強度の評価は、温度は20～25℃、湿度50～60%の条件下試験を行った。

【0078】(実施例1)表1に高炭素Si脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0079】

【表1】

10

20

30

40

50
50

No.	化学組成(質量%)							介在物組成(質量%)	疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	その他	
1	0.80	0.25	0.50	0.0002	0.0003	0.0001	-	SiO ₂	1132
2	0.80	0.25	0.49	0.0003	0.0004	<0.0001	-	Na ₂ O	1160
3	0.79	0.24	0.50	0.0002	0.0020	0.0002	-	Ti ₂ O	1154
4	0.80	0.25	0.48	0.0013	0.0004	0.0004	-	Cr ₂ O ₃	1023
5	0.81	0.26	0.49	0.0003	0.0003	0.0001	-	CaO	1042
本発明例									
比較例									
6	0.80	0.25	0.50	0.0032	0.0005	0.0001	-	Al ₂ O ₃ =31%	780
7	0.80	0.25	0.49	0.0003	0.0031	0.0001	-	Ti ₂ O=37%	770
8	0.79	0.24	0.50	0.0002	0.0002	0.0011	-	ZrO ₂ =24%	720
9	0.81	0.26	0.49	0.0003	0.0006	0.0001	-	CaO=40%, Na ₂ O=2%	746
10	0.80	0.25	0.50	0.0004	0.0003	0.0001	-	CaO=5%, Na ₂ O=1%	719

【0080】表1に示すように、高炭素Si脱酸鋼の化学組成がAl≤0.003%、Ti≤0.003%およびZr≤0.0010%でSiが0.05～4.0%で、かつ介在物中のSiO₂濃度が4.5%以上、Na₂O濃度が0.5～1.0%である試料No.1～5の本発明例は疲労強度が1023MPa以上と大きな値が得られたが、No.6～10の比較例は疲労強度が780MPa以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0081】(実施例2)表2に高炭素Cr含有Si脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0082】

【表2】

13

	化学組成(質量%)								介在物組成(質量%)	疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	O		
No. 11	0.50	1.40	0.80	0.0005	0.0006	0.0001	0.75	0.0013	SiO ₂ 8% Na ₂ O 1%	1220
12	0.49	1.41	0.81	0.0006	0.0006	0.0001	0.74	0.0013	77 3.4	1321
13	0.48	1.42	0.80	0.0007	0.0006	0.0001	0.75	0.0013	78 8	1324
14	0.50	1.41	0.81	0.0012	0.0009	0.0001	0.74	0.0014	52 2.3	1224
15	0.51	1.40	0.79	0.0008	0.0001	0.0001	0.72	0.0013	56 9.1	1248

本発明例

比較例

10

20

30

14

No.	化学組成(質量%)								介在物組成(質量%)	疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	O		
No. 16	0.50	1.39	0.80	0.0033	0.0006	0.0001	0.72	0.0016	SiO ₂ 36% Na ₂ O 31%	1014
17	0.49	1.41	0.81	0.0006	0.0031	0.0001	0.74	0.0018	41 0.21/0.37%	1040
18	0.48	1.42	0.80	0.0007	0.0006	0.0010	0.75	0.0017	35 0.17/0.44%	1038
19	0.49	1.43	0.79	0.0005	0.0006	0.0001	0.74	0.0019	42 0.2/0.44% Na ₂ O=6%	1009
20	0.50	1.44	0.80	0.0011	0.0007	0.0001	0.75	0.0023	43 0.2/0.40% Na ₂ O=9%	985

本発明例

比較例

40

【0083】表2に示すように、高炭素Cr含有Si脱酸鋼の化学組成がA1≤0.003%、Ti≤0.003%およびZr≤0.0010%でSiが0.05～4.0%で、かつ介在物中のSiO₂濃度が4.5%以上、Na₂O濃度が0.5～1.0%である試料No.11～15の本発明例は疲労強度が1224 MPa以上と大きな値が得られたが、No.16～20の比較例は疲労強度が1040 MPa以下と比較的に小さな値しかえられなかつた。

【0084】(実施例3) 表3に中炭素Cr、Mo含有Si脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0085】

【表3】

【0086】表3に示すように、中炭素Cr、Mo含有Si脱酸鋼の化学組成がA1≤0.003%、Ti≤0.003%およびZr≤0.0010%でSiが0.5～4.0%で、かつ介在物中のSiO₂濃度が4.5%以上、Na₂O濃度が0.5～1.0%である試料No.21～25の本発明例は疲労強度が628 MPa以上と大きな値が得られたが、No.26～30の比較例は疲労強度が508 MPa以下と比較的に小さな値しかえられなかつた。

【0087】(実施例4) 表4に中炭素Cr、Mo、Ni含有Si脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0088】

【表4】

50

15

No.	化学組成(質量%)							介在物組成(質量%)	疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	O		
31	0.18	0.25	0.30	0.0003	0.0006	0.0001	1.15	Si02:0.16% Na2O:0.03%	80 1.4
32	0.20	0.24	0.31	0.0006	0.0002	0.0001	1.11	Si02:0.15% Na2O:0.04%	77 3.3
33	0.19	0.26	0.30	0.0002	0.0005	0.0002	1.14	Si02:0.15% Na2O:0.03%	72 7.8
34	0.20	0.25	0.30	0.0021	0.0005	0.0002	1.14	Si02:0.16% Na2O:0.03%	69 2.4
35	0.18	0.25	0.79	0.0005	0.0001	0.0001	1.13	Si02:0.16% Na2O:0.03%	56 5.6
本発明例									
比較例									

16

【0089】表4に示すように、同脱酸鋼の化学組成がA i ≤ 0.003%、T i ≤ 0.003%およびZ r ≤ 0.0010%でS iが0.05~4.0%で、かつ介在物中のS i O₂濃度が4.5%以上、N a₂O濃度が0.5~1.0%である試料No.31~35の本発明例は疲労強度が60.9 MPa以上と大きな値が得られたが、No.36~40の比較例は疲労強度が50.8 MPa以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0090】(実施例5) 表5に低炭素Cr系ステンレスS i脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0091】

【表5】

20

30

No.	化学組成(質量%)							介在物組成(質量%)	疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	O		
41	0.10	0.25	0.30	0.0009	0.0007	0.0001	17.00	0.0044	74 1.4 360
42	0.10	0.24	0.31	0.0009	0.0006	0.0001	17.10	0.0033	78 3.3 367
43	0.10	0.25	0.30	0.0010	0.0005	0.0002	17.20	0.0038	70 7.8 371
44	0.10	0.25	0.31	0.0027	0.0005	0.0002	17.00	0.0048	47 1.8 330
45	0.10	0.26	0.32	0.0009	0.0005	0.0001	17.10	0.0040	49 5.6 338
本発明例									
比較例									
46	0.10	0.25	0.30	0.0037	0.0004	0.0001	17.10	0.0051	38 0.2 Al2O3=33%
47	0.10	0.24	0.31	0.0006	0.0036	0.0001	17.20	0.0045	41 0.2 Ti2O3=41%
48	0.10	0.25	0.31	0.0012	0.0006	0.0012	17.10	0.0044	34 0.1 ZrO2=28%
49	0.10	0.24	0.31	0.0011	0.0008	0.0001	17.00	0.0049	40 0.2 CaO=40%, MgO=27% 311
50	0.10	0.25	0.32	0.0011	0.0007	0.0001	17.20	0.0081	43 0.1 CaO=44%, MgO=19% 300

【0092】表5に示すように、同脱酸鋼の化学組成がA i ≤ 0.003%、T i ≤ 0.003%およびZ r ≤ 0.0010%でS iが0.05~4.0%で、かつ介在物中のS i O₂濃度が4.5%以上、N a₂O濃度が0.5~1.0%である試料No.41~45の本発明例は疲労強度が33.0 MPa以上と大きな値が得られたが、No.35

6~40の比較例は疲労強度が31.1 MPa以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0093】(実施例6) 表6に低炭素Cr-Ni系ステンレスS i脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0094】

【表6】

No.	化学組成(質量%)								介在物組成(質量%)		疲労強度(MPa)	
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	O	その他	SiO ₂	Na ₂ O	
本発明例	51 0.082	0.25	0.41	0.0009	0.0008	0.0001	19.00	0.0038	Ni:8.3%	75	1.4	430
	52 0.083	0.26	0.41	0.0008	0.0006	0.0001	19.20	0.0041	Ni:8.3%	78	3.3	440
	53 0.084	0.25	0.40	0.0010	0.0005	0.0002	19.00	0.0037	Ni:8.3%	70	1.8	415
	54 0.082	0.23	0.04	0.0021	0.0005	0.0002	19.00	0.0047	Ni:8.3%	51	1.8	356
	55 0.085	0.25	0.40	0.0009	0.0012	0.0001	19.10	0.0035	Ni:8.3%	49	5.6	361
比較例	56 0.082	0.26	0.40	0.0036	0.0004	0.0001	19.10	0.0052	Ni:8.3%	38	0.2 Al2O3=28%	300
	57 0.084	0.24	0.42	0.0011	0.0031	0.0001	19.00	0.0047	Ni:8.3%	41	0.2 Ti2O3=38%	302
	58 0.085	0.26	0.43	0.0012	0.0006	0.0014	19.20	0.0049	Ni:8.3%	34	0.1 ZrO2=28%	295
	59 0.081	0.25	0.40	0.0017	0.0008	0.0001	19.00	0.0053	Ni:8.3%	40	0.2 CaO=42%, MgO=18%	311
	60 0.082	0.25	0.41	0.0014	0.0007	0.0001	19.10	0.0032	Ni:8.3%	41	0.1 CaO=39%, MgO=21%	302

【0095】表6に示すように、同脱酸鋼の化学組成がA1≤0.003%、Ti≤0.003%およびZr≤0.0010%でSiが0.05~4.0%で、かつ介在物中のSiO₂濃度が4.5%以上、Na₂O濃度が0.5~1.0%である試料No.51~55の本発明例は疲労強度が35.6 MPa以上と大きな値が得られたが、No.56~60の比較例は疲労強度が31.1 MPa以下と比較的小さな値しかえられなかった。

【0096】

【発明の効果】本発明のSi脱酸鋼は、従来の鋼と比較して、有害な大型介在物が少なく、しかも残留した介在物も延性のある介在物であり、かつその介在物は微細に分散されたものであり、今までにない疲労強度に優れた鋼種である。

【図面の簡単な説明】

【図1】鋼中の[A1]濃度と介在物中の(SiO₂)濃度との関係を示すグラフである。

【図2】鋼中の[Ti]濃度と介在物中の(SiO₂)濃度との関係を示すグラフである。

濃度との関係を示すグラフである。

【図3】鋼中の[Zr]濃度と介在物中の(SiO₂)濃度との関係を示すグラフである。

【図4】鋼中の[Si]濃度と介在物中の(SiO₂)濃度との関係を示すグラフである。

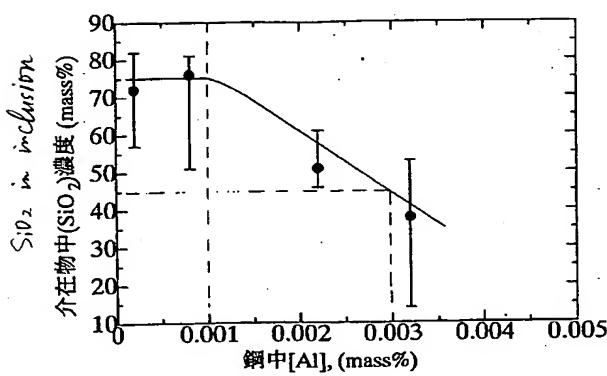
【図5】鋼中の[Si]濃度と介在物中の(Na₂O)濃度との関係を示すグラフである。

【図6】圧延方向断面における介在物の幅の大きさとその度数分布との関係を示すグラフである。

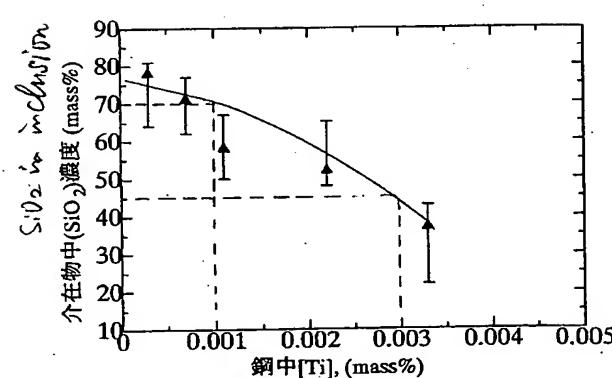
【図7】介在物中の(Na₂O)濃度をパラメータとした圧延方向断面における介在物の幅の大きさとその度数分布との関係を示すグラフである。

【図8】CaO:3.3~4.0%、SiO₂:3.3~4.0%、Al₂O₃:2~5%、MgO:1.2~1.5%、残部にCaF₂:2~5と不可避的に含まれるFeO、MnOおよびその他不純物を含有するスラグ中のNa₂O濃度と介在物中のNa₂O濃度との関係を示すグラフである。

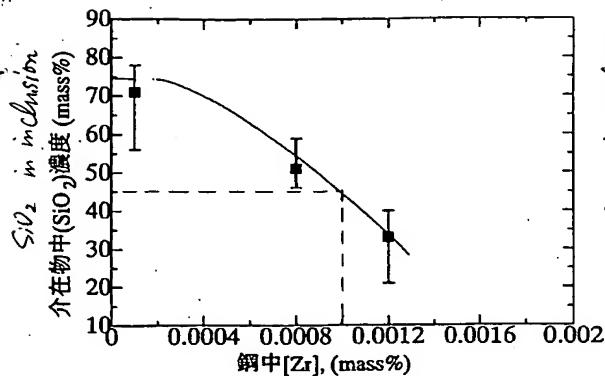
【図1】



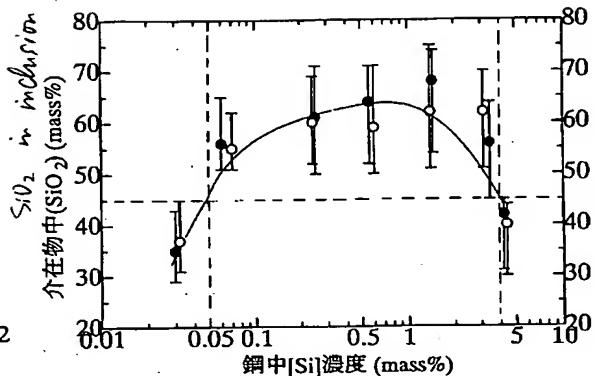
【図2】



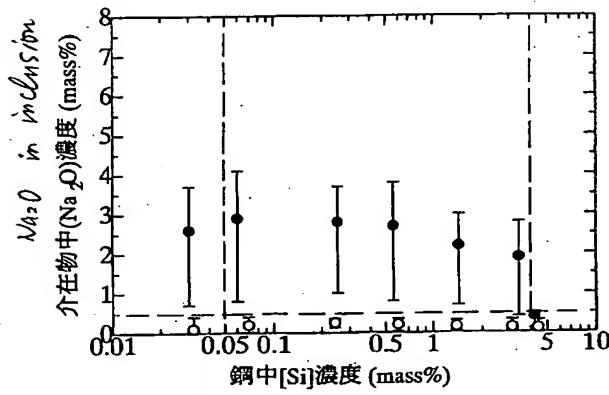
【図3】



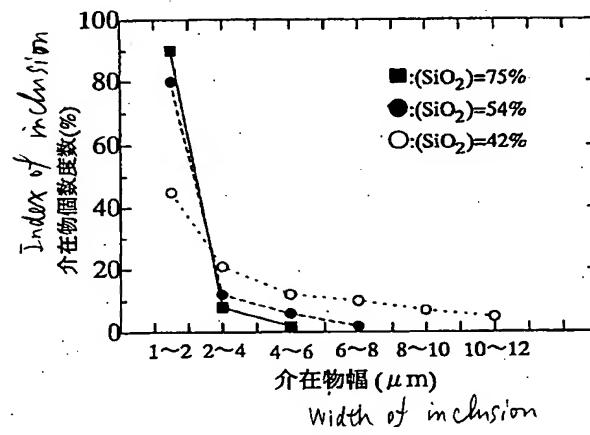
【図4】



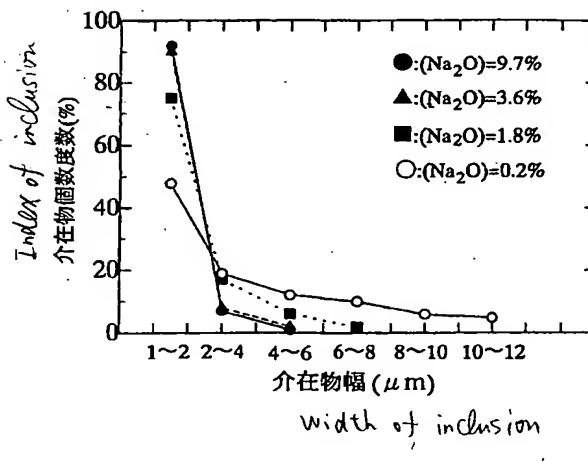
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

